

Il Progetto MetA
La Metrologia dell'Ambiente

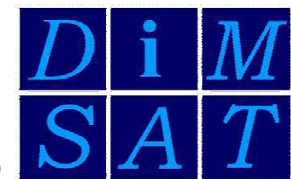
***Problematiche metrologiche nella misura
della concentrazione delle polveri***

Ing. Agostino Viola



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di ingegneria

DiMSAT - Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio



Definizioni e simbologie

Definizione del particolato

“Insieme di particelle (solide o liquide) che a causa della loro bassa densità restano sospese in aria”

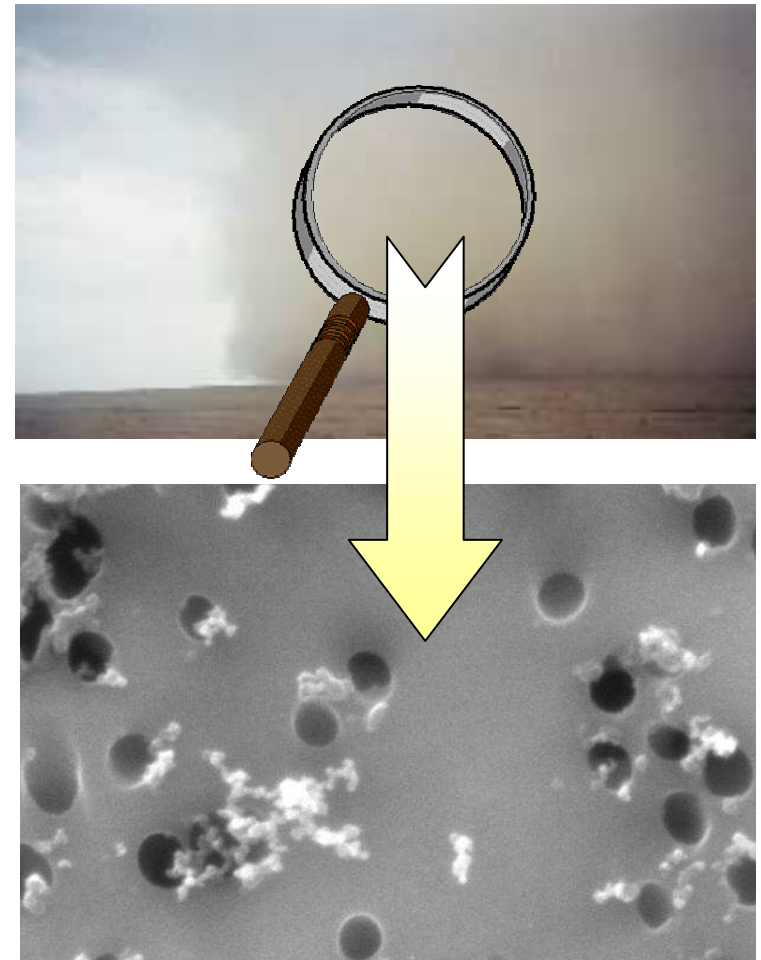
sabbie **esalazioni**
foschie
polveri **fumo**

Acronimi

PTS Polveri Totali Sospese

PM Particulate Matter

FSP Fine Suspended Particulate



Origini del particolato

Naturale

erosione, eruzioni vulcaniche,
incendi, spore, polline.....



Antropica

processi chimici, emissioni autoveicoli(in
particolare i motori diesel), impianti industriali.....



Le emissioni naturali ed artificiali presentano ordini di grandezza *confrontabili*. La concentrazione nel caso naturale è **diffusa**. Nel caso artificiale è **localizzata**

Quale sarebbe il valore di concentrazione delle polveri in natura senza la presenza dell'uomo?

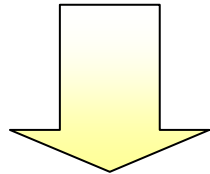
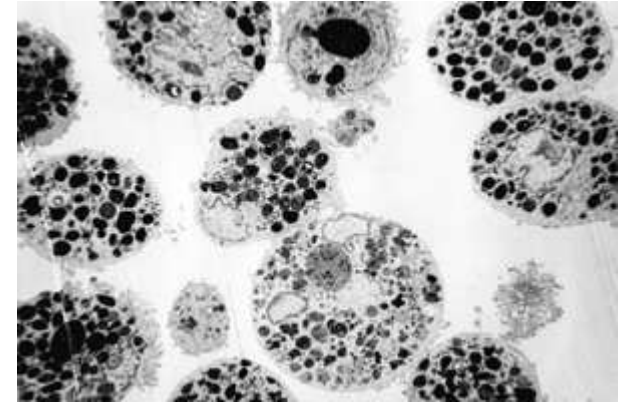
Per le concentrazioni naturali di fondo su base annuale varia da $4 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ a $11 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ nei luoghi remoti del Nord America.

Fonte:EPA 2003



Diametro aerodinamico equivalente

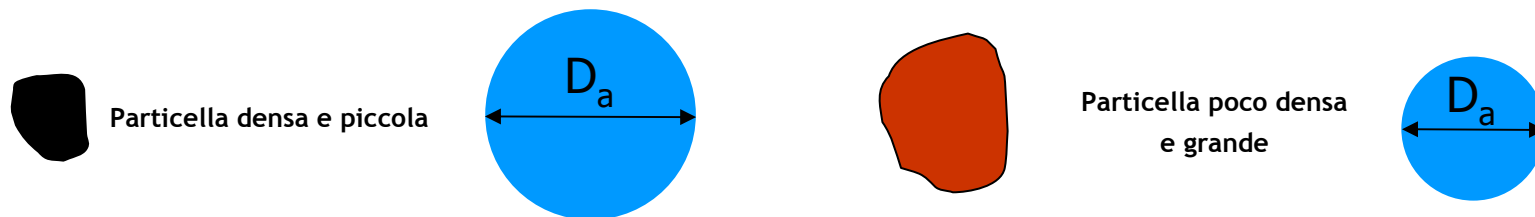
- Estrema variabilità della loro densità
- Forma non esattamente sferica



I parametri dimensionali non descrivono in maniera efficace il comportamento termofluidodinamico e di conseguenza ne rendono poco agevole la misura!

Definizione

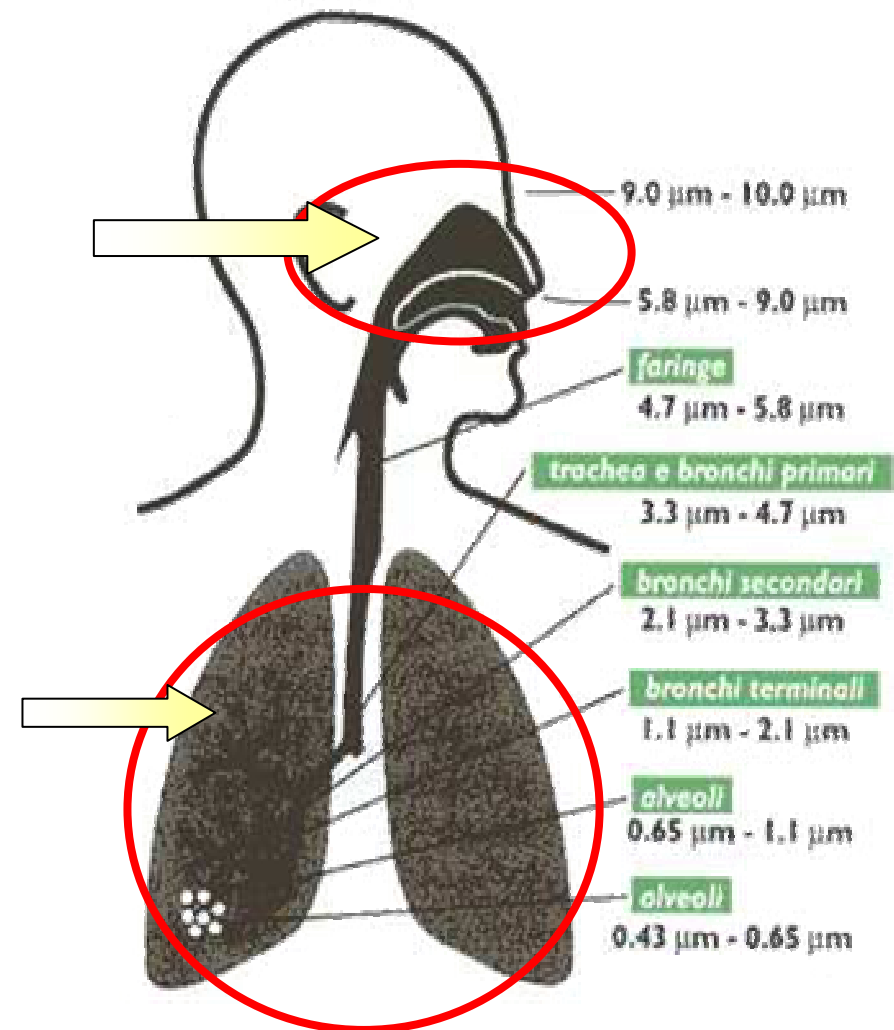
“il diametro di una particella sferica con una densità di 1 g/cm^3 (acqua), che sotto l'azione della forza di gravità e in calma d'aria e nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa, raggiunge la stessa velocità finale della particella considerata”



Le PM10 e PM2.5

Le PM10 rappresentano il particolato che ha un diametro aerodinamico equivalente inferiore a 10 micrometri e vengono anche dette polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe)

Le PM2.5 costituiscono circa il 60% delle PM10 e rappresentano il particolato che ha un diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micrometri. Le PM2.5 sono anche dette **polveri respirabili** perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari)



La misura del particolato

Quadro Normativo tecnico



UNI EN 12341:2001 - Qualità dell'aria - Determinazione del particolato in sospensione PM10 metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto al metodo di riferimento

UNI EN 14907:2005 Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massica PM 2,5 del particolato in sospensione

UNI EN 13284-1:2003 - Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni. Metodo gravimetrico

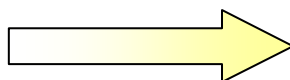
UNI EN 13284-2:2005 - Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni. Sistemi di misurazione automatici

UNI EN 14181:2005 - Emissioni da sorgente fissa - Assicurazione della qualità di sistemi di misurazione automatici

Tecniche e strumenti di misura per PTS, PM10 e PM2,5

Settore	Principio di misura	Strumentazione/campionamento	Norma
Qualità dell'aria (outdoor)	Analisi gravimetrica	Campionatori a flusso di aspirazione costante	UNI EN 12341 UNI EN 14907
	Analisi in continuo	Dispositivi ottici, assorbimento di raggi beta, spettrofotometria (FTIR)	
Ambienti di lavoro (indoor)	Analisi gravimetrica	Campionatori a flusso di aspirazione costante portatili	
Emissioni in atmosfera di impianti industriali (outdoor)	Analisi gravimetrica	Sistema di campionamento isocinetico	UNI 13284 UNI 14181
	Analisi in continuo	Dispositivi ottici, assorbimento di raggi beta, spettrofotometria (FTIR)	

L'analisi gravimetrica è il metodo primario



Riferibile a campioni del sistema internazionale (massa, tempo, lunghezza..)

I dispositivi per l'analisi in continuo devono essere tarati con metodo primario.

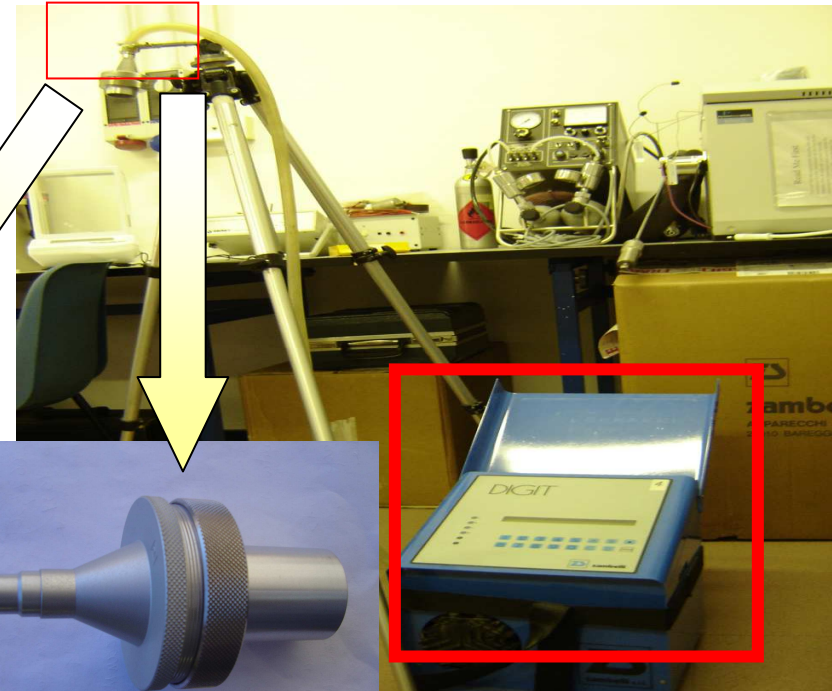
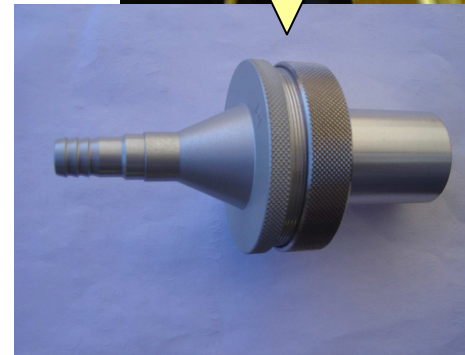
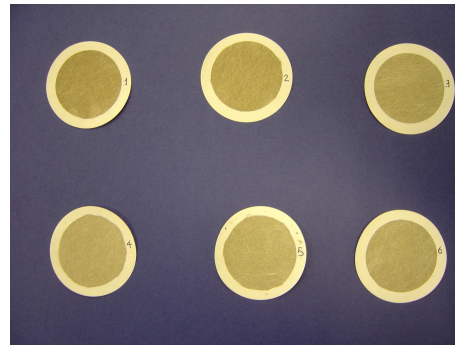
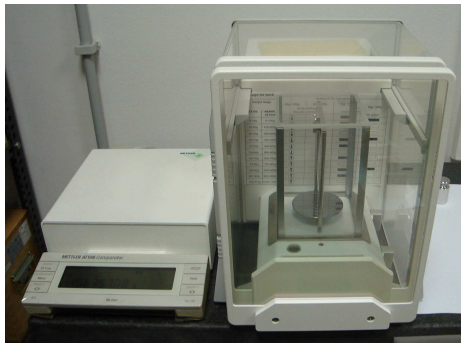
Analisi gravimetrica: il principio di misura

Il materiale particolato viene determinato attraverso la filtrazione dell'aria con conseguente raccolta del particolato in sospensione in aria. La concentrazione finale del materiale particolato viene ottenuta determinando la variazione in massa del filtro divisa per il volume di gas aspirato normalizzato [T = 0° C e p = 101325 Pa]

$$C = \frac{\Delta m}{V} = \frac{m_f - m_i}{V} \quad [\mu\text{g}/\text{Nm}^3]$$

Gli strumenti sono:

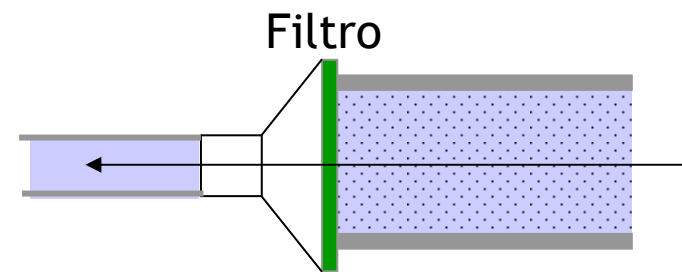
- Bilancia analitica
- Campionatore volumetrico a portata costante
- Ugello portafiltro
- Filtro in cellulosa
- Tubi di raccordo



La qualità dell'aria PM10 e PM2,5

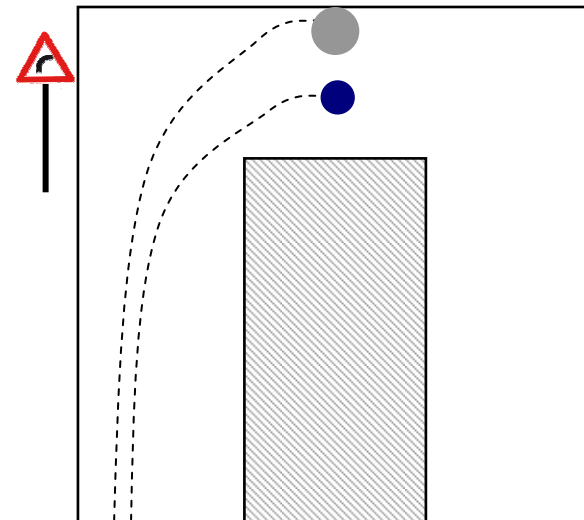
Metodologia per il campionamento del PM10 e PM2.5

Il compito del filtro è quello di fermare qualsiasi particella che lo attraversa. Esso non è in grado di effettuare una “selezione”. Per questo dobbiamo utilizzare dispositivi per la separazione granulometrica che vengono denominate teste di campionamento

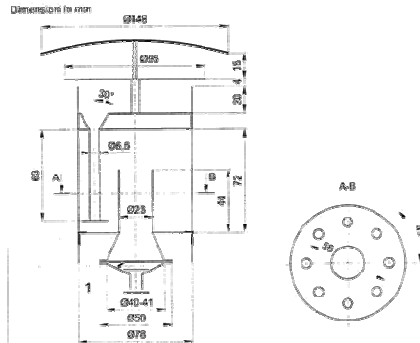


Se ad una corrente gassosa si fa subire una brusca variazione di direzione, le particelle da essa trasportate tenderanno a proseguire nella direzione primitiva quanto più grande sarà il diametro equivalente.

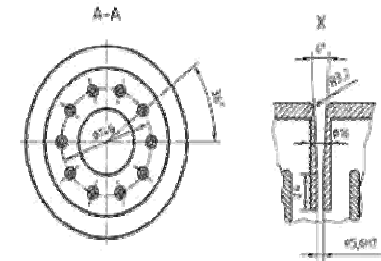
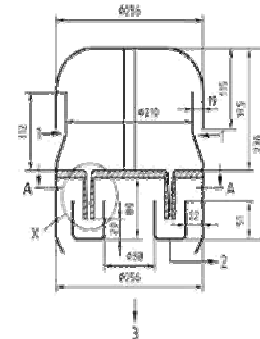
Il compito dell'impattore inerziale è quello di deviare (e quindi arrestare) le particelle più “grandi” lasciando passare quelle più “piccole”.



Teste di campionamento



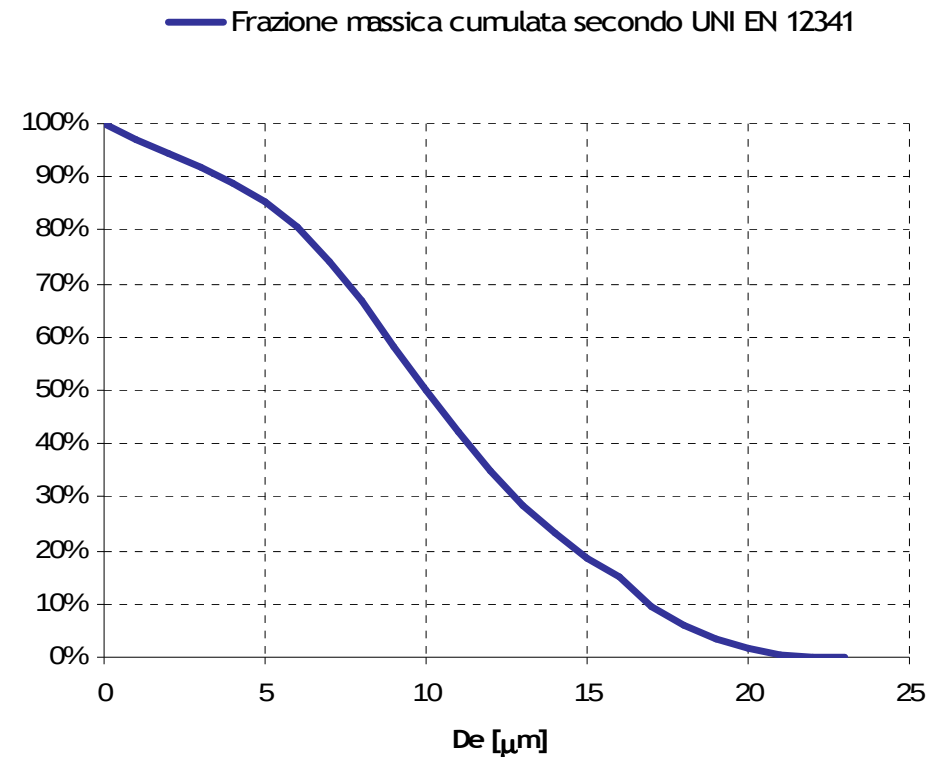
Tipo di testa	Norma	Flusso di aspirazione
PM10	EPA 40 CFR PART 50	1 m ³ /h
	UNI EN 12341:2001	2,3 m ³ /h
PM2.5	EPA 40 CFR PART 50	1 m ³ /h
	UNI EN 14907:2005	2,3 m ³ /h



L'efficacia è fortemente influenzata dalla capacità della pompa di erogare un flusso di aspirazione costante!

Metodologia per il campionamento del PM10 e PM2.5

Tipo di testa	Norma	Flusso di aspirazione
PM10	EPA 40 CFR PART 50	1 m ³ /h
	UNI EN 12341:2001	2,3 m ³ /h
PM2.5	EPA 40 CFR PART 50	1 m ³ /h
	UNI EN 14907:2005	2,3 m ³ /h



L'efficacia è fortemente influenzata dalla capacità della pompa di erogare un flusso di aspirazione costante!

A causa delle basse concentrazioni il campionamento deve durare almeno 24 ore

Catena di misura per il PM10



Le misure al camino

Misure al camino mediante campionamento isocinetico

Problematiche

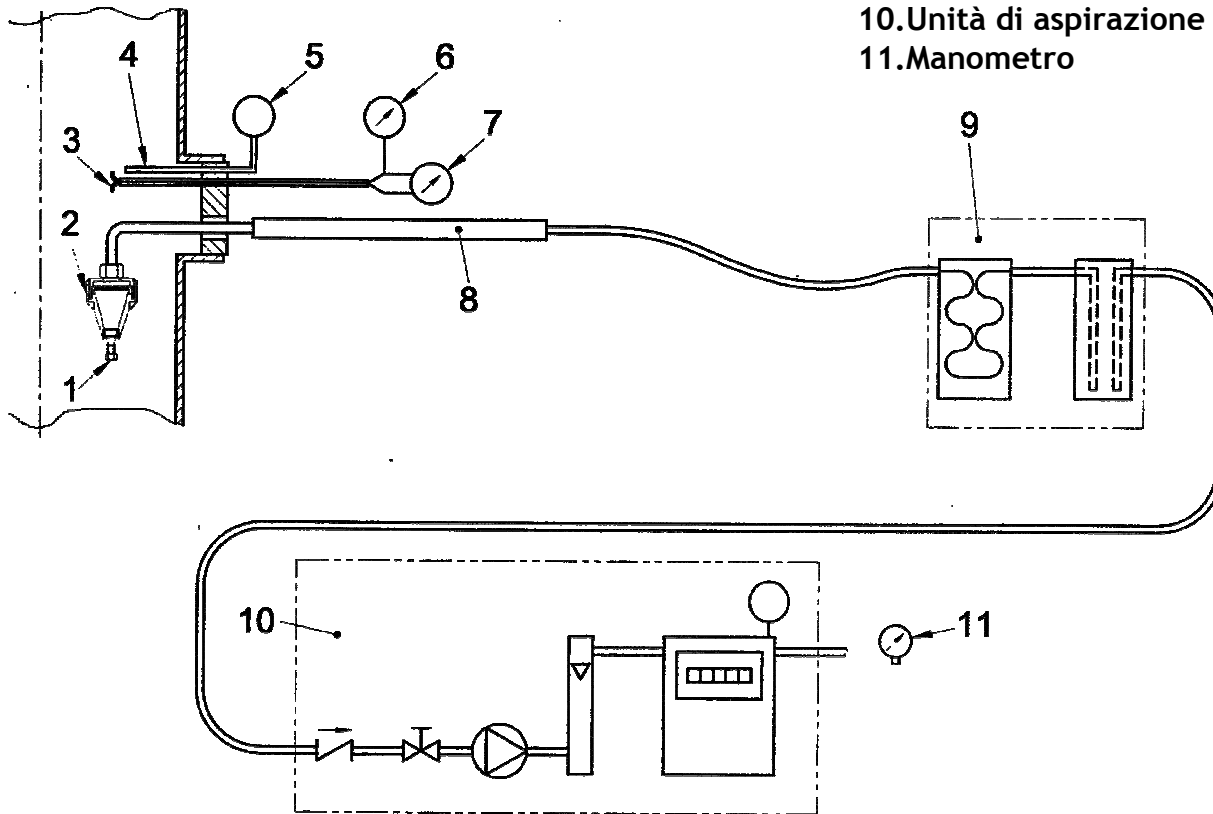
- Effetti fluidodinamici (campo di moto)
- Dipendenza dal ciclo produttivo
- Personale qualificato

UNI EN 13284-1:2003 - Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni. Metodo gravimetrico



La catena di misura

1. Ugello di ingresso
2. Portafiltro
3. Tubo di Pitot
4. Sensore di temperatura
5. Indicatore di temperatura
6. Misura statica della pressione
7. Misura dinamica della pressione
8. Supporto
9. Sistema di raffreddamento e raccolta del gas
10. Unità di aspirazione e dispositivo di misurazione del gas
11. Manometro



Punto 6 - Apparecchiatura e materiali



6.1 - Misura della velocità mediante tubo di Pitot



6.2.4 - Ugelli di ingresso



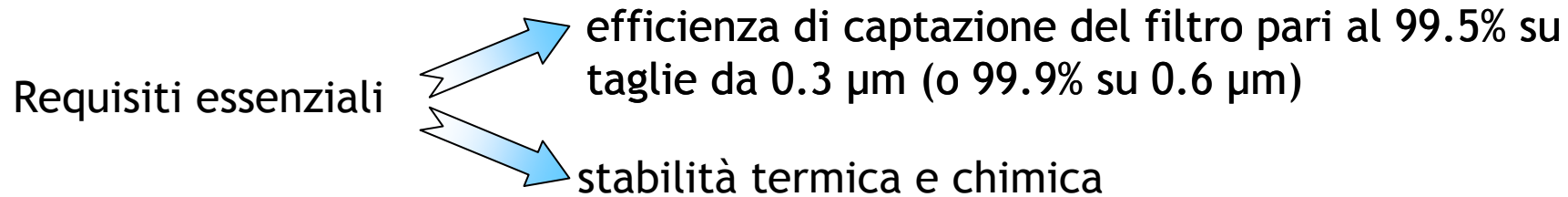
6.2.6 - Portafiltro



6.2.8 - Raccoglitore di condensa

Punto 6 - Apparecchiatura e materiali

6.2.8 Filtri e ditali



Tipologie

DITALI in cellulosa	fino a 60°C e camini polverosi
FILTRI in fibra di vetro	fino a 200-300 °C e poca umidità (reagiscono chimicamente con SO ₃)
DITALI in ceramica	fino a 450-500 °C riutilizzabili 2 o 3 volte

COSTO



Punto 6 - Apparecchiatura e materiali

6.2.8 Unità per il campionamento volumetrico

- a prova di corrosione
- ampia regolazione della portata (1-40 l/min)
- valvola di non ritorno
- flussimetro
- misuratore del flusso gassoso secco (inc. 2%)
- misura della temperatura (inc. ± 2 °C) e della pressione (inc. 1%)

6.3 Accessori di recupero dei depositi di polveri

- Acqua distillata
- Tappi per chiudere i tubi di aspirazione



Punto 6 - Apparecchiatura e materiali

6.4 Apparecchiatura per il condizionamento e la pesatura

Il locale di pesatura e condizionamento deve essere preferibilmente lo stesso

- forno di essiccazione termicamente controllato
- bilancia analitica
- essiccatori in vetro o ceramica con gel di silice



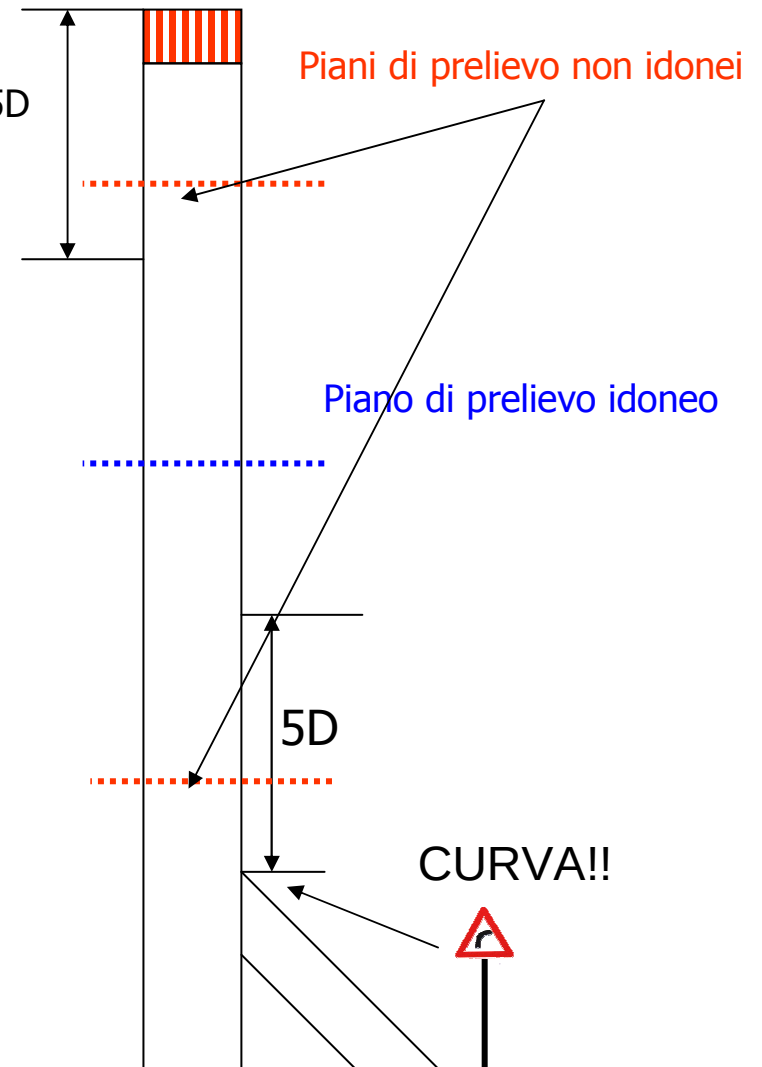
1. Essiccazione in forno per almeno 1 ora a 160°C
2. Raffreddamento in ambiente termicamente controllato (T e U.R.)
per 12 ore in gel di silice
1. Pesatura ed etichettatura

Requisiti metrologici

Punto 5.2 - Piano di campionamento

Il piano di campionamento deve soddisfare i seguenti 5D requisiti:

- Situato in un tratto rettilineo (preferibilmente verticale)
- Sezione costante (nella forma e nell'area)
- Lontano a valle e a monte da qualsiasi perturbazione del campo di moto (curve, ventole, valvole di regolazione,...) in genere 5 diametri idraulici a monte e a valle (solo 2 a valle se in condotto non sfocia in atmosfera ma continua)
- Nessun flusso negativo locale
- Angolo tra la direzione del flusso e l'asse del condotto $< 15^\circ$
- Piano dove il rapporto tra velocità max locale e min locale è 3:1

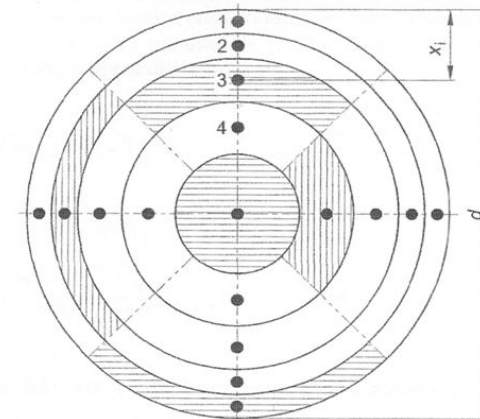


Punto 5.3 - Punti di campionamento

Il numero di punti è funzione della forma (circolare o rettangolare) e dell'area

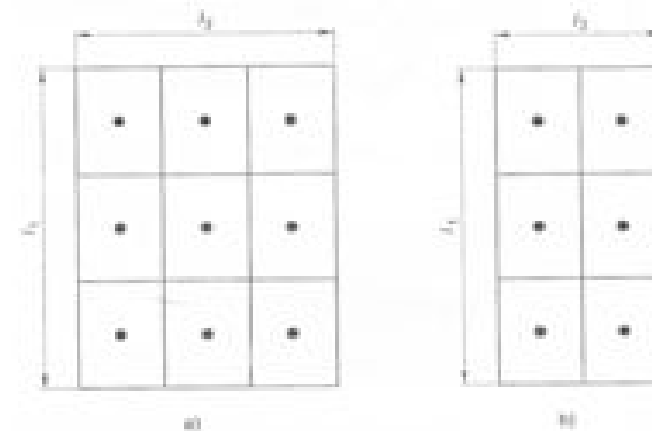
CONDOTTI CIRCOLARI

Area della sezione relativa al piano di campionamento	Diametro del condotto	Linee di campionamento	Numero minimo di campionamenti per piano
<0.1	<0.35	-	1
da 0.1 a 1.0	da 0.35 a 1.1	2	4
da 1.1 a 2.0	da 1.1 a 1.6	2	8
>2.0	>1.6	2	almeno 12 e 4 per ogni m ²



CONDOTTI RETTANGOLARI

Area della sezione relativa al piano di campionamento	Numero minimo di divisioni per lato	Numero minimo di campionamenti per piano
<0.1	-	1
da 0.1 a 1.0	2	4
da 1.1 a 2.0	3	9
>2.0	>3	almeno 12 e 4 per ogni m ²



Punti di campionamento

Profilo di concentrazione costante

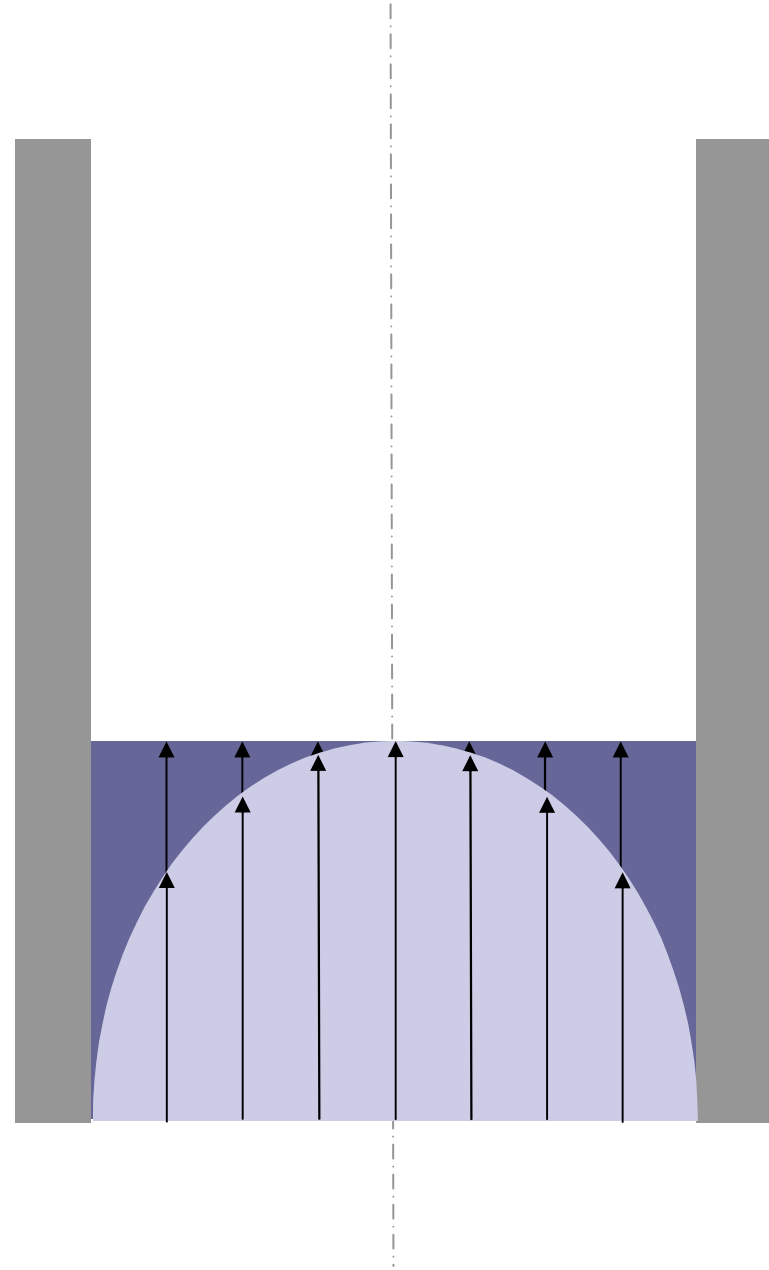
Indipendentemente dalla grandezza del condotto posso effettuare una sola misura

$$C = \frac{\Delta m_1}{V_1}$$

Profilo di concentrazione variabile

Devo effettuare più misure lungo diversi diametri. Se effettuo una sola misura sovrastimo la concentrazione

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m_i}{V_i}$$



Distribuzione della concentrazione nel condotto

Risultati ottenuti mediante simulazione numerica ai volumi finiti (Fluent)

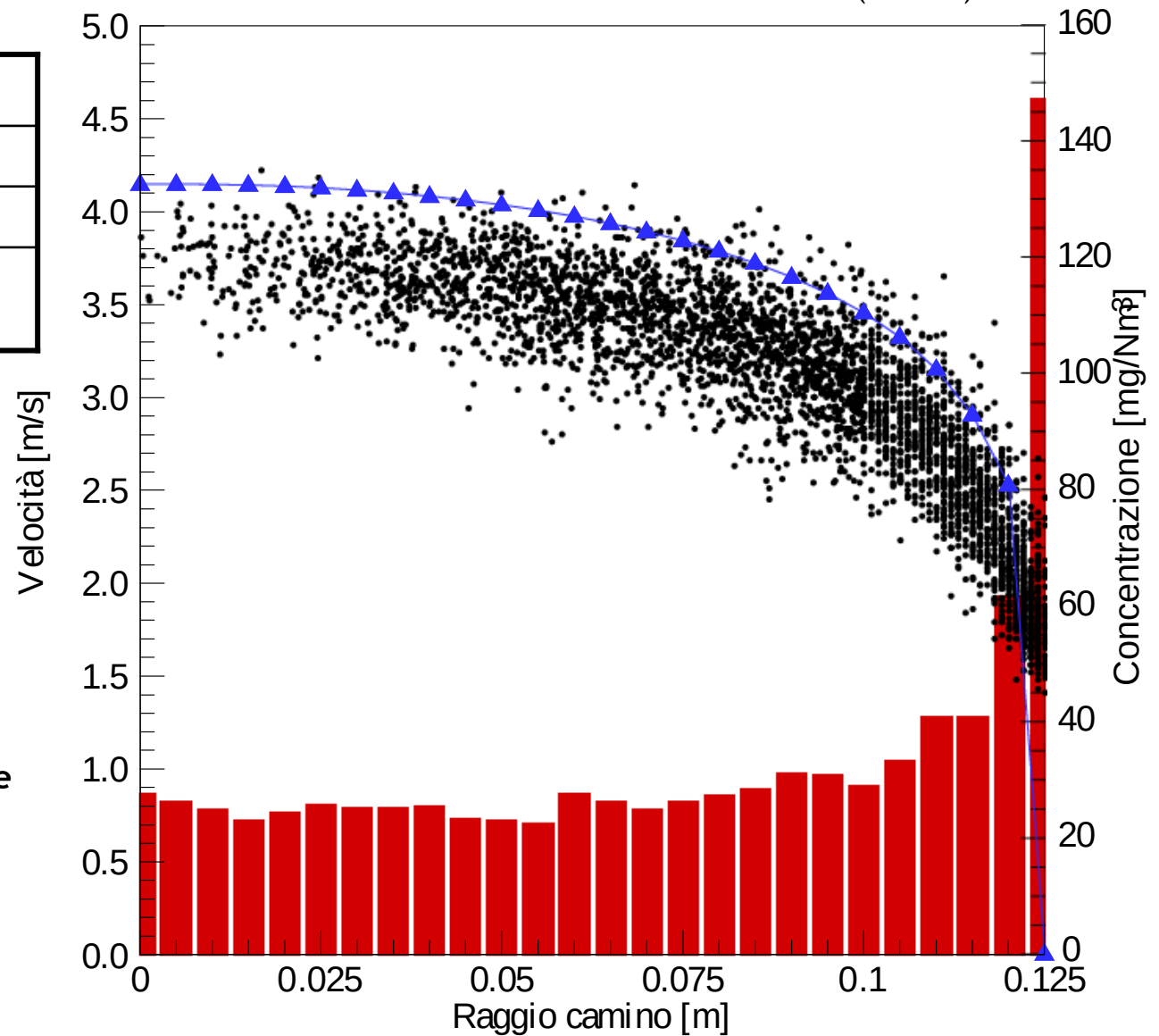
Diametro del condotto	0,25 m
Diametro particelle	75 μm
Portata Aria	640 Nm^3/h
$m = \frac{\dot{m}_{\text{particelle}}}{\dot{m}_{\text{aria}}}$	$1 \cdot 10^{-5}$

$$C = 31,2 \text{ mg/Nm}^3$$

Profilo di velocità del gas

Profilo di velocità delle particelle

Profilo di concentrazione

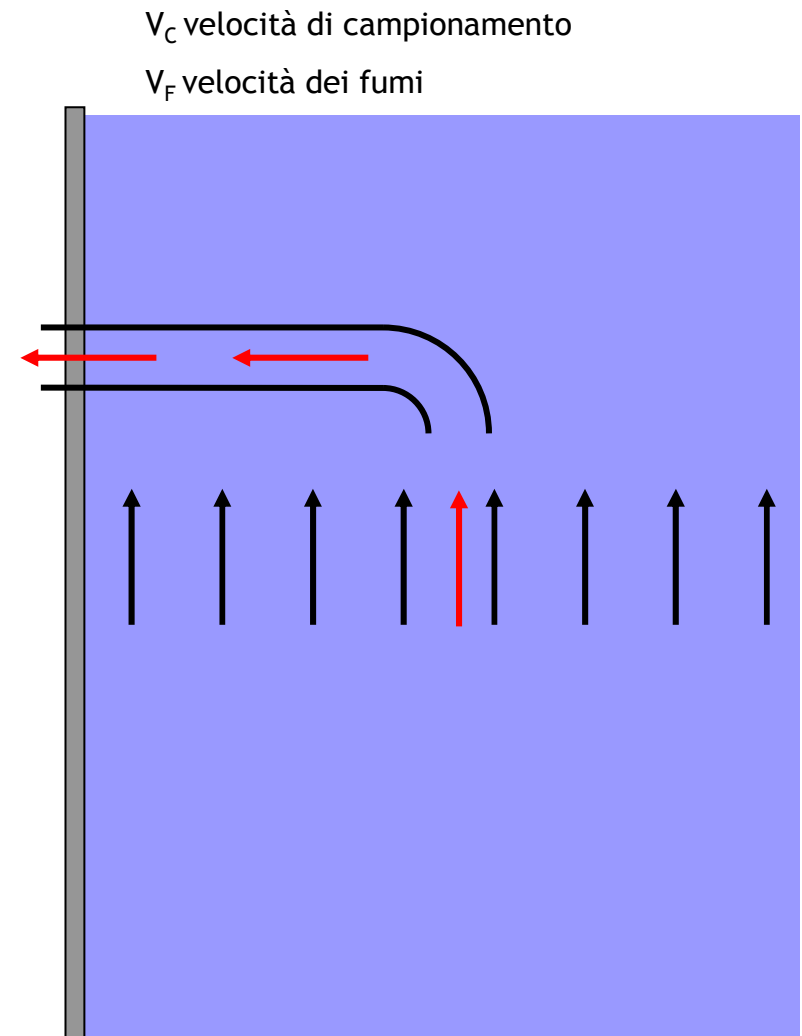


Problematiche metrologiche legate all'isocinetismo

Il campionamento viene denominato isocinetico quando viene effettuato nelle **medesime condizioni di velocità** del flusso gassoso in esame

Il campionamento effettuato ai fini della misura di concentrazione di particolato dovrebbe essere effettuato in modo isocinetico, perché a causa dei fenomeni inerziali ai cui le polveri sono soggette un campionamento non isocinetico potrebbe dar luogo ad impoverimento arricchimento di particolato nel campione prelevato

$$V_C = V_F$$

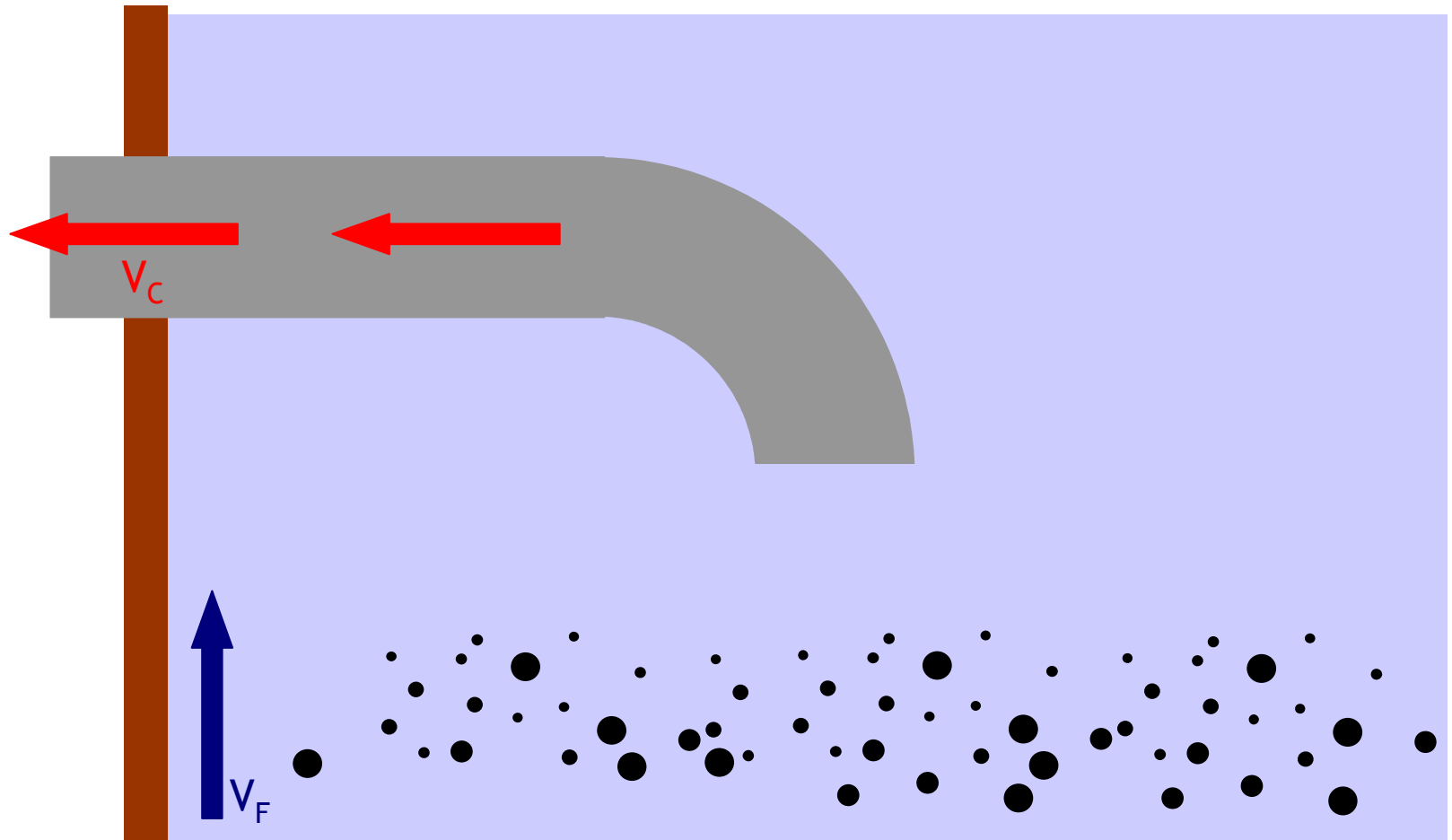


Caso 1: $V_F = V_C$

V_C velocità di campionamento

V_F velocità dei fumi

In questo caso il campione è rappresentativo

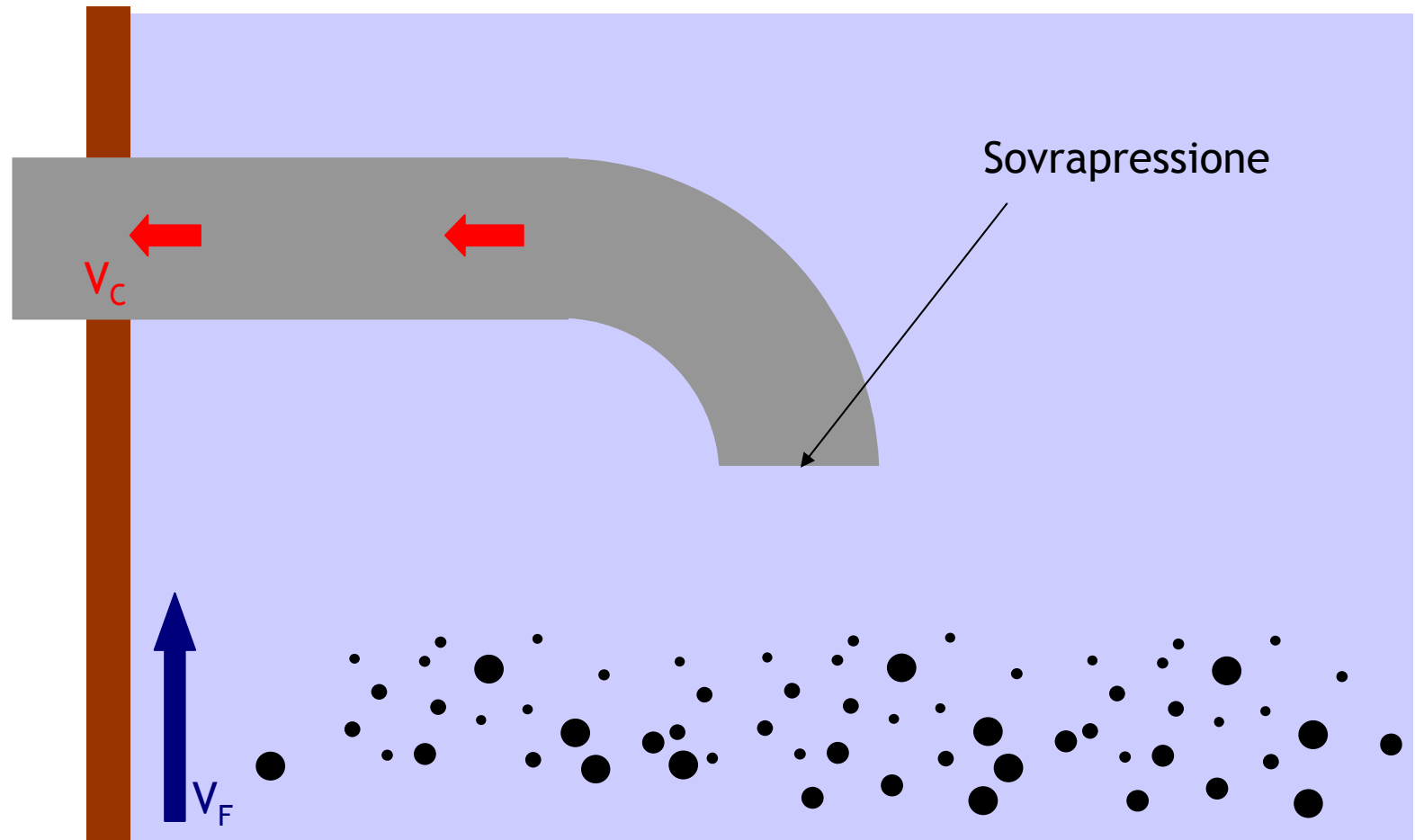


Caso 2: $V_F > V_C$

V_C velocità di campionamento

V_F velocità dei fumi

Se la velocità di campionamento è inferiore in prossimità dell'ugello si genera una sovrappressione e le particelle più leggere, a causa dell'inerzia non verranno campionate.

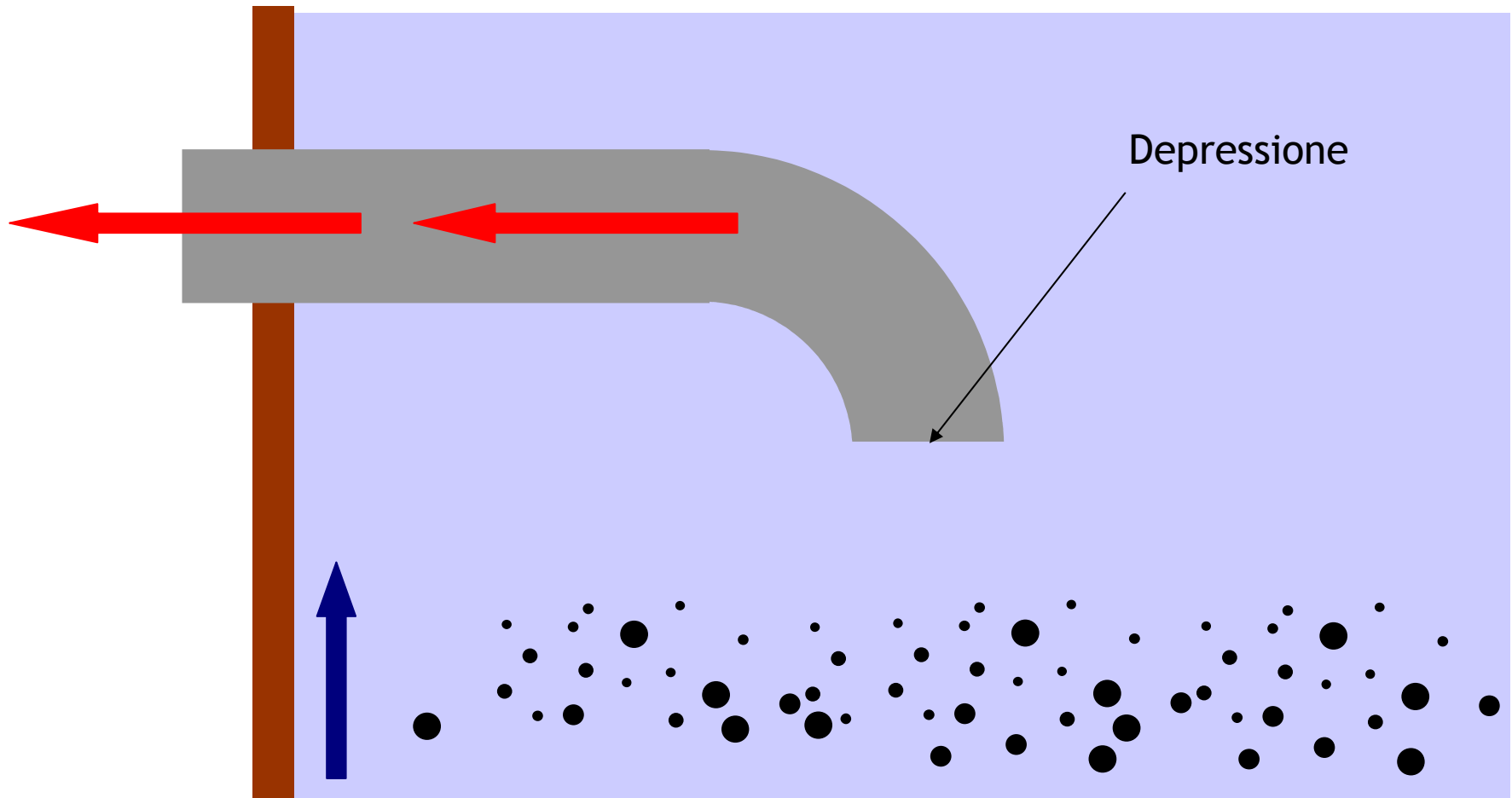


Caso 3: $V_F < V_C$

V_C velocità di campionamento

V_F velocità dei fumi

Se la velocità di campionamento è superiore in prossimità dell'ugello si genera una depressione e le particelle più leggere, a causa dell'inerzia vengono risucchiate dalla corrente e vengono campionate.



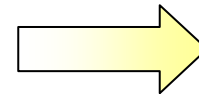
Punto 12: Caratteristiche di prestazione del metodo

- Variabilità degli effluenti gassosi
- Del regime di processo
- Condizioni termofluidodinamiche

la ripetibilità e la riproducibilità
del metodo assumono valori
estremamente elevati

Incertezze massime ammissibili

Apparecchiatura	Requisito
Area di ingresso ugello	$\leq 10\%$
Contatore volumetrico gas	$\leq 2\%$
Sensore di pressione	$\leq 1\%$
Sensore di temperatura	$\leq 1\%$
Bilancia: risoluzione minima	0,01 mg
Massa volumica dell'effluente gassoso	$\leq 0,05 \text{ kg/m}^3$



Incertezza di misura
intorno al 10%

Calcolo della
concentrazione

Conclusioni e sviluppi futuri

Qualità dell'aria

Buona riferibilità delle misure

Importanza della bilancia

Misure al camino

Criticità relative al piano, punti di misura ed all'isocinetismo

Determinazione della distribuzione di concentrazione in impianti a ciclo continuo

Stima della ripetibilità e riproducibilità della misura



CET-PALMER

cinque centri di eccellenza tecnologica nel Lazio meridionale



Grazie per l'attenzione

Ing. Agostino Viola

viola@unicas.it

tel - 0776.299.4328

fax - 0776.299.4002



Università degli Studi di Cassino

Facoltà di ingegneria

DiMSAT - Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio

